

放射性世界

喻焕森 陈丽姝 编

中国计量出版社



放射性世界

俞煥森 陈丽珠 编

中国计量出版社

内 容 简 介

这是一本关于放射性科学知识的通俗读物，它把知识性、实用性、趣味性相结合，对放射性在各种环境中的情况、放射性在各个领域中的广泛应用以及辐射对人体造成的生物效应和辐射的防护等内容，作了生动有趣、浅显易懂的介绍，具有初中以上文化程度的读者都是可以读懂的。

放 射 性 世 界

喻焕森 陈丽姝 编

责任编辑 陈艳春

—♦—

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—♦—

开本 787×1092/32 印张 3.125 字数 68 千字

1990 年 4 月第 1 版 1990 年 4 月第 1 次印刷

印数 1—1 500

ISBN 7-5026-0306-9/TB·253

定价 2.10 元

前 言

有的人一看到这本书的名字《放射性世界》，就会感到奇怪和吃惊吧？因为一说到放射性，就容易使人想到威力巨大的原子弹，神秘而可怕的放射战剂，想到能够穿透人体的贯穿辐射、能使人患癌症甚至祸及子孙的各种射线等等。所以，一提到放射性，他们就视若毒蛇猛兽，马上退避三舍，“那是危险的家伙，快快躲远点！”然而，如今这本书竟然在“世界”这个词的前面冠上了“放射性”这个定语，岂不是太可怕了吗！叫人躲都没处躲啦！

但是，又有这样的人，他们在并非必要时也会去要求医生给透视一下，还要照上几张X光片子才能满意；还有的人见到了设有放射性危险标志的地域，也毫不介意地随便进入；甚至还有与放射性物质打交道的工作人员对辐射也满不在乎，忽视防护，违章操作。是射线对这些人就特别温顺和善吗？不！射线是不认人的，一律不讲客气。这些人因为自己的行为受到了一定剂量的照射，有的造成了辐射损伤，情况严重者甚至付出了沉痛的代价。

那么，放射性对于人类就总是那么的有害、讨厌和可怕吗？不！绝不是的。放射性是人类发现的，许许多多放射性还是人类生产出来的。人类是放射性的主人，放射性是人类的奴仆。这是些很守规矩、很听话的奴仆，很有本领、很会做事的奴仆；它们为人类已经做了很多的事情，成绩很出色，而且还会为人类做更多的事情。

那么，放射性究竟是什么、有些什么特性？它是可怕还是不可怕？人类和放射性有些什么关系？放射性有些什么作用和用途、怎样应用？效果如何？放射性对人可能造成什么伤害、怎样造成伤害、应当怎样防护？等等。这本书就是要和大家来讨论这些问题。

目 录

第 1 章 放射现象和射线	(1)
1.1 1896 年人类拉开了原子时代的帷幕	(1)
1.2 艰难曲折的漫漫长路	(4)
1.3 在微观世界里	(8)
1.4 看不见摸不着的射线	(13)
1.5 放射性元素的衰变、衰变率、半衰期	(15)
1.6 计量单位及其相互间的关系	(18)
第 2 章 天然放射性	(23)
2.1 引言	(23)
2.2 三个天然放射系	(24)
2.3 单独存在的天然放射性核素	(27)
第 3 章 人工放射性	(28)
3.1 一次意外发现展示出又一新领域	(28)
3.2 向原子核发动的一次大规模进攻	(29)
3.3 从加速器和反应堆里创造出奇迹	(30)
3.4 放射性同位素在各行各业里大显神通	(35)
第 4 章 放射性在环境中的动态和行为	(38)
4.1 我们生活在放射性世界	(38)
4.2 从太空来的宇宙射线“雨”	(41)
4.3 空气中的辐射笼罩着我们	(44)
4.4 地面的放射性物质就在我们身边	(46)
4.5 水域中放射性物质的态势	(48)
4.6 人们所受到的天然照射	(51)

第5章 放射性的应用	(57)
5.1 引言	(57)
5.2 勘探矿藏资源的法宝	(58)
5.3 放射性仪表领地上繁花似锦	(59)
5.4 开辟了化学工业新领域——辐射化工	(61)
5.5 高效无损探伤的利器	(62)
5.6 善于完成特殊使命的核电池	(63)
5.7 消除静电的能手	(63)
5.8 促进作物增加产量、提高质量	(64)
5.9 辐射育种奇迹多	(64)
5.10 探明棉花施肥的秘密新路	(65)
5.11 杀虫威力大, 消毒本领高	(65)
5.12 辐射处理食品情况简介	(66)
5.13 放射医疗战线上的几员“战将”	(68)
5.14 “考古钟”、“地质钟”	(70)
第6章 辐射的生物效应	(72)
6.1 引言	(72)
6.2 有关的生物学知识	(73)
6.3 引起生物效应的几种辐射	(75)
6.4 辐射效应的分类	(77)
6.5 辐射造成伤害有哪些特点	(78)
6.6 辐射的躯体效应	(79)
(a) 早期效应	(80)
(b) 晚期效应	(82)
6.7 辐射的遗传效应	(84)
6.8 局部照射的效应	(85)
第7章 辐射的防护	(87)
7.1 引言	(87)
7.2 关于外照射的防护标准和防护措施	(88)
7.3 关于内照射的防护标准和防护措施	(91)

第1章 放射现象和射线

1.1 1896年人类拉开了原子时代的帷幕

1896年是值得永远纪念的。因为在这一年，人类发现了物质的天然放射现象，从而使自己对于自然界的认识向前跨跃了一大步，深入到祖先们猜测、探寻、求索了几千年而从未进入过的微观世界——原子核里面去了，发现了这个奥秘而奇妙的天地。在漫漫历史长河中，人类就是这样地拉开了原子时代的帷幕，跨进了一个光辉灿烂的历史新时代。

让我们从“幕前曲”的鸣奏说起吧。

那是1893年，世界各国的科学家在欧洲召开了一个大会。当时，关于物质的构成已经形成了一种很普遍并且根深蒂固的观念，即认为原子是构成物质的最小的，再也不可分割的颗粒，原子是永恒的和不可改变的。所以在会上，原子论者们表现出了明显的骄傲自满、止步不前的思想情绪，认为“自然界已彻底袒胸露臂，把一切奥秘都展现给人类了”。好象已经到头了，以后再也没有多少事情可做了。

就在这样的一股潮流之中，在德国的浮兹堡却有一个人正在“逆潮流而动”，谁也没有想到，就是他竟象那报晓的雄鸡，奏响了一个伟大历史新时代到来的前奏曲，这个人就是德国物理学家伦琴（Roentgen, 1845—1923）。1893年他是浮兹堡大学的教授兼物理研究所所长。1894年他被任命为浮兹堡大学的校长。



图 1 伦琴

伦琴当时将近五十岁。他可以说是搞物理实验“出身”，有很好的物理实验基本功。虽然当了校长，仍然喜欢埋头搞物理实验。连他的夫人也常对别人说：亲自动手这是他的嗜好和习惯。

1895年12月的一个夜晚，伦琴吃罢晚饭又回到他的实验室。他正在研究阴极射线的特性。阴极射线是电流通过一种玻璃管内的稀薄气体而产生的黄绿色光线。在实验中伦琴发现，放电的玻璃管不仅发射看得见的光，还发射某种看不见的射线。这种射线穿透力很强，能穿透玻璃、木板、肌肉等，能穿过黑纸使里面包着的底片感光，还能使涂有氰酸钡的纸板闪灼浅绿色的荧光；但是对于骨头，它就难于穿透了。伦琴还用这种射线拍下了他夫人手骨的照片，这就是人类第一张X光照片。照片上骨节分明，连戴在无名指上的结婚纪念戒指也清晰可见，伦琴夫人当时真是惊奇万状，说：“亲爱的，你是在变魔术吧！”伦琴感到这种新发现的射线的本质很神秘，还只能算是一个未知之物，于是就把数学中表示未知数的“X”借用过来，称这种射线为“X射线”。后来，尽管物理学家们弄清了X射线的本质，知道它和可见光一样，都是电磁振荡波，只是它的振荡频率要比可见光高出几千倍，而波长却短得多，但是，“X射线”这个名称还是沿用下来了。

这一发现引起了很大的轰动。由于X射线的特殊穿透本领，世界各地的医学界纷纷开始用X射线来帮助诊断。对于悉心探索物质微观世界的物理学家们，X射线的发现引

起了他们极大的兴趣，大家到处去寻找射线。其中有一位法国的物理学家兼化学家，叫做贝可勒尔（Becquerel, 1852—1908）。他当时正在进行发光物质的研究。有一种叫做硫酸双氧铀钾的化合物，受到日光照射之后能够发光。贝可勒尔想知道这种亮光是否与伦琴的X射线管的玻璃壁上的光一样，也含有X射线，为此，他精心地做着实验，就这样迎来了1896年。有一次贝可勒尔无意地把铀的化合物放在用黑纸包好的照相底片上，后来这张底片被冲洗了，底片上



图 2 贝可勒尔

有明显的铀矿物轮廓的黑斑，而且黑影的深度很大。这个结果使他很惊讶！是什么有力的东西，竟然把涂在底片上的溴化银“击碎”了，使之分解成了溴和银！他敏感地想到：这只能是铀矿物自己发出的某种射线干出了这桩事；这种射线与可见光、荧光以至X射线都不同，这种不同就在于它是物质自发地发射出来的。为了把情况搞准确，他做了多种多样的试验，其结果都证明铀化合物是能够放射出一种当时也是谁也说不清楚的射线的；而且，这种在没有人为因素（例如利用电场来产生X射线）条件下，物质本身就能放射出射线的现象，说明原子并不是固定不变和不可再分的，而是可以自动地发生变化和可以再分的，说明它可能还有更精细的结构。

贝可勒尔观察到铀的放射现象，是人类第一次观察到的核变化。它打开了原子核神秘而坚固的大门，使人类对物质结构的认识向前推进了一大步，人类辉煌的原子时代的帷幕

就从这里拉开了。

贝可勒尔的发现看起来有些偶然，然而，能在这个高度上有所发现，这是千百年来多少人付出艰辛劳动积累起来的，没有这个前提和基础，当然就不会有这个发现。所以，故事并不是从这里开始的。

1.2 艰难曲折的漫漫长路

在遥远的古代，人类的生产工具十分简陋，生产力水平十分低下。为了能够更多更好地向大自然索取，人们便探索着大自然的奥秘。人们在生活和斗争中，看到了复杂繁纒、变化多端的物质和现象，还看到这些物质和现象都在遵循着一定规律，好象一切都早已安排好了。这样，人们就很自然地想到，在大自然的多样性和规律性的背后，一定存在着某种基本的原理和力量，是它把世界安排成这个样子的。于是，“世间万物究竟是怎么来的？为什么会是这样的？”这个根本性问题便自然地产生出来了。

对于这个问题，产生了两种根本对立的观点。一种观点认为天地之间存在着一种超越于人的力量，这就是神；一切（包括人）都是神创造的、安排的、一切都被神统治着、主宰着，神是万能的。这样的人们就敬畏而虔诚地向神告拜，乞求，这就形成了宗教。

持另一种观点的人们敢于对神表示怀疑，他们到物质世界中去寻求答案。我国古代的“五行”说就是这样产生出来的。“五行”说认为世间万物都是由“金、木、水、火、土”这样五种最基本的东西构成的。在春秋战国时代，我国的墨子（墨翟，约公元前478—392年）提出过“端”的概念，认为各种物质都是由“端”组成的。这个“端”的含义就是指物质的不能再行分割的微小粒子。在外国，也有这样的代

表人物和学派。在古印度，也流传着“五行”说，认为“万物皆由地、水、火、风、空形成”。在公元前6世纪，已经进入奴隶社会的古希腊出现了一些最早的自然哲学家，其中的代表人物泰勒斯（约公元前624—527年）提出过“水为万物之本”；阿拉克西米尼（约公元前585—525年）则认为构成万物的基本物质是空气；赫拉克利特（约公元前530—470年）则认为世间万物呈现出多样性，是由永生的火变化来的。到了公元前5世纪，古希腊产生了杰出的唯物论哲学家德谟克利特（约公元前460—370年）的原子论。

德谟克利特的原子论认为，世间万物都是由一些很小很小，小到不能再分开的粒子组成的；这些粒子没有质的差别，只有大小、形式、排列、状态上的不同，他把这种粒子叫做“原子（atom）”，意思是不可再分割开的东西。他还认为，原子是永远运动着的永远不变的，它不生不灭，也不能被破坏，是终极粒子。万物之所以呈现出多样性，就在于构成它们的粒子的形态和结合方式的不同。这就是古代的原子论。古希腊后期有一位教员叫做伊壁鸠鲁（公元前341—270年）对这一原子论做了重要的补充，他认为原子都有一定的重量，原子不只有大小、形式、排列、状态的区别，还有重量上的区别，物质的密度决定于原子填塞的紧密程度。后来古罗马的哲学家卢克莱茨（约公元前99—55年）继承了德谟克利特和伊壁鸠鲁的原子论。当然，在古代没有能证明原子实际存在的科学手段和方法，当时的原子论是在继承前人的观点，加上自己的观察，运用逻辑推理方法得出来的。证明原子的实际存在那是后来的事。

有不同的观点，不同的学派，必然汇聚成不同的社会势力，发生必然的斗争；这种斗争有时还会是很激烈、很残酷的哩！

在古希腊奴隶占有制社会中，出现了一位极博学的著名思想家、哲学家、名叫亚里士多德（公元前 384—322 年）。他在哲学、逻辑学、心理学、物理学、政治学、历史、伦理学和美学方面都作出过有价值的贡献。他有很高的社会地位和很大的社会影响。他虽然认为物质的属性不外湿、干、冷、热四种，它们以不同方式组合起来，就可以形成水、火、土、空气这四种基本原质，属性的变化就会生成新的物质；但他又认为属性的变化不是物质自身运动的结果，而是所谓“第一推动者”——神的推动。他的观点很快被神学所相中和利用，并被编入宗教的教义。随着宗教的社会地位逐渐地上升到了前所未有的高度，关于物质构成的唯物论思想，就都被宗教当作异端邪说而压制下去，他们的著作被烧毁，许多无神论者被无理地投入监狱，野蛮地判处各种重刑，甚至被教会残酷地活活烧死。在神学支配下的漫长中世纪中，成为古希腊唯物论顶峰的原子论完全被打入了“地狱”，随着时间的流逝，它渐渐地被人们遗忘了，这就是科学发展史上的“中世纪黑暗”。

到 17 世纪中叶，从封建社会内部发展起来的资本主义产生了对科学技术的迫切需要，激起了人们对宗教的反抗。原子论也就在这当中“复活”了。最初用原子论解释物理学和化学现象的是爱尔兰的物理学家兼化学家波义耳（1627—1691 年）。他发现有一些物质是不能用其它物质通过化学反应来合成的。他把这种物质称为“元素”。他认为，对应着各种元素存在着各种原子，而元素的差别则在于各种原子的结构不同。

到了 18 世纪，由于采矿业的发达，化学实验技术的进步，科学家们相继发现了氢、氮、氧等元素，随着时间的推移，新发现的元素迅速增多。到 19 世纪初期，英国物理学

家道尔顿 (Dalton, 1766—1844 年) 出版著作详细探讨了原子问题。他提出, 每一种元素都是由它本身的一类原子构成的。一种元素的原子不同于其它各种元素的原子, 其差别主要就在于它们的质量的不同。各种基本物质的属性以及由它们组成的各种各样物质的属性之所以千差万别, 原因在于原子, 因此, 要揭开物质的秘密, 必须深入研究原子。他



图 3 道尔顿

确定了原子具有原子量这样的根本属性。那么, 什么是原子量呢? 我们知道不论计算什么东西, 都要定一个比较的标准作为单位才好计算。例如计算长度的单位有厘米、米、千米等, 计算质量的单位有克、千克、吨等。原子实在太小了, 不用说用肉眼, 就是用高倍率的显微镜也是看不到的, 它的半径大约只有 10^{-10} 米! 这么微小的东西用什么去计量它呢? 道尔顿想出了一个好办法。他把最轻的原子——氢原子的质量定为 1, 把其它原子与氢原子进行比较, 于是得出了它们的相对质量。例如碳原子大约为氢原子的 12 倍, 所以碳原子的原子量就是 12, 氧原子进行比较之后, 得出原子量为 16……。道尔顿确定了原子量, 就把宏观万物的特性与微观世界的原子量之间搭起了一座可以相互沟通的桥梁。1811 年, 意大利物理学家阿伏加德罗在道尔顿的原子论中引入了“分子”的概念。他认为, 元素的分子是由同种原子构成的, 化合物的分子是由几种不同的原子构成的。在物质结构中发现了原子、分子这样的层次, 对于从物质的微观结构的要素来推导物质的性质起了巨大的推进作用。

到 19 世纪的头 25 年，已经发现了 20 多种元素，到 50 年代增加到了 50 多种。然而，这时还没有发现各种元素之间存在着什么内在的联系。1869 年，俄国化学家门捷列夫 (Mendel'ev, 1834—1907 年) 把当时已经发现的 64 种元



图 4 门捷列夫

素按照它们原子量的大小予以排列使之系统化的时候，发现各种元素随着原子量的增加，它们的各种物理、化学性质呈现出周期性的重复。这就是元素周期律的发现。元素周期律暗示着原子具有某种周期结构，这种结构对决定物质的性质具有重大意义。根据原子论发现的周期律，能够惊人地预

言那些未知的元素以及它们的特性，这就表明原子论已经不是为了说明实验事实而编造的假说，而是正确掌握了物质内部结构的理论(请见附录“化学元素周期表”)。

经过前面这极为简单的回叙，我们已经逐步地回到了本章开头说的故事上来了。那么，故事是不是到此结束了呢？没有，因为原子科学事业正是方兴未艾，原子时代还只是开始。但是原子时代的帷幕一拉开，英雄好汉们便纷纷登台表演，所以我们的故事也就会越来越丰富、生动和感人。

1.3 在微观世界里

贝可勒尔的发现，使得已经牢固形成的关于原子是物质不可分割的最小单位，永远不会变化的观念被突破了，使揭开物质结构奥秘的研究工作，得到突飞猛进的发展。

就在贝可勒尔发现射线的第二年，即 1897 年，英国物

理学家汤姆逊 (Thomson, 1856—1940 年) 发现了原子大家庭中的第一个成员——轨道电子, 并测出了电子的质量为 0.91×10^{-30} 千克, 电荷为 1.6×10^{-19} 库仑, 直径为 5.62×10^{-13} 厘米。电子的发现, 可以说是原子论历史上最大的革命性发现。由于发现了电子, 从而使人们知道原子并不是物质的不可分的最小单位, 它自身也具有结构。



图 5 居里夫人

贝可勒尔的发现, 使原籍波兰的法国物理学家和化学家玛丽·居里 (M. Curie, 1867—1934 年) 和她的丈夫——法国物理学家皮埃尔·居里 (P. Curie, 1859—1906 年) 产生这样的想法: 只有铀能放射出射线来吗? 还有没有别的物质也能放射出射线来呢? 为此, 他们认真地检查了大量的, 各种不同的化学试剂和矿石, 对铀和铀的各种矿石进行了深入的研究。从他们这里果然又传出了使人们惊奇和欣喜的消息, 他们发现用来提炼金属铀的沥青铀矿矿石, 发出的射线要比铀强得多。他们想, 沥青铀矿的矿石里一定有比铀能放出更强射线的物质, 这种物质一定是尚未知晓的新元素。于是, 他们开始从沥青铀矿中寻找和提炼这种新的元素。经过两年的艰苦努力, 终于在 1898 年提炼出了两种新的放射性元素, 分别被命名为镭 (Ra) 和钋 (Po)。居里夫人还把这种原子核自发地发射各种射线的现象取名叫“放射性”, 这些能发射射线的物质或元素叫做“放射性物质”, “放射性元素”。非常稀少而珍奇的元素镭, 具有非常强烈的放射性, 比铀要强两百万倍! 把镭作为强有力的工具, 对于研究和利用射线

就更加有利了。

1899年，汤姆逊的学生卢瑟福（Rutherford, 1871—1937年）发现铀的射线至少有两种，一种是穿透性较弱的 α 射线，一种是穿透性较强的 β 射线。



图 6 卢瑟福

人类的历史就在刚刚打开原子世界大门的时候，就这样热热闹闹地进入了20世纪。

现在，已经是20世纪的80年代了。在这80多年中，原子科学日新月异地向纵深发展，真可谓英雄辈出，成果累累。

特别应当提到的是：1900年，迪尔贝发现了元素锕（Ac），

毕拉德发现在镭的射线中除 α

射线和 β 射线外，还有一种穿透性更强的 γ 射线；居里夫妇还证明了 β 射线就是高速电子流；普朗克提出了量子假说。

1902年卢瑟福和索蒂证明了放射性元素都以它固有的寿命放出 α 射线和 β 射线，逐步地转变为另一种放射性元素。

1905年，爱因斯坦（Einstein, 1879—1955年）提出了光子学说、狭义相对论。1908年，卢瑟福证明了 α 射线就是氦的正离子。盖革发明了计数器；它和1912年威尔逊发明的云雾室，都是实验技术上有划时代意义的进步，使直接观察原子和电子的轨迹和直接数它们的个数成为可能。1910年，赫斯多次把载有仪器的气球升到高空，发现了来自宇宙的射线。1911年，卢瑟福提出了原子结构模型，把位于中心的，具有原子绝大部分质量并带正电荷的粒子命名为“原子核”，把氢的原子核称为“质子”，其它原子核的质量大体是质子质量的整倍数。1915年，爱因斯坦提出了广义相对